

令和元年6月3日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18188

研究課題名(和文) 超高強度制振主架構における柱梁接合部構成法の開発と設計法構築

研究課題名(英文) Development of Design for Connection between Ultra-high Strength Steel Box Column and H-beam in Building Structures with Passive Damping System

研究代表者

浅田 勇人 (Asada, Hayato)

神戸大学・工学研究科・助教

研究者番号：70620798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、制振構造の主架構を想定した汎用鋼の2倍程度の強度を有する超高強度鋼材を用いた柱と、汎用鋼の梁を外ダイアフラムによって接合した部分架構実験および数値解析を行い、主に柱梁接合部の耐震性能を検討した。実験結果より現行の接合部設計指針に準拠して設計した場合、ブレースや床スラブの存在によらず、層間変形角5%を越える大変形時においても安定した挙動を示すことがわかった。また、数値解析によって、ガセットプレートを含めた梁端接合部の応力伝達機構を詳細に調べ、ガセットプレートを考慮した部材剛性および耐力の評価、接合部の推奨ディテールの提示、さらにはその具体的な設計法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現行の耐震規定をはるかに超える極大地震動に対しても、地震後の機能維持、事業継続性を実現できる具体的な方策が求められつつある。この目標達成のために、汎用鋼材に比べて、2倍程度の弾性限変形能力を確保できる超高強度鋼材を柱に用いる制振構造は有効とされるが、それを実現する上で、柱梁接合部の構成法、超高強度鋼材の溶接施工の煩雑さやコスト低減が現実的な課題としてあった。この課題克服のため、本研究では、通常の溶接施工条件でも施工可能な外ダイアフラム形式接合部を採用することを考え、この接合部構成法の応力伝達機構を適切に踏まえたディテールを用いることによって、十分に必要性能を確保できることを提示した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this project is to evaluate the seismic performance of ultra-high strength steel box column and H-beam connection stiffened by external diaphragm with or without gusset plate and develop its design method, to be suitable for building structures with passive damping system. Two series of sub-assembly tests were performed to investigate the effect of brace force, the connection details and composite slab on the global and local responses. The specimen designed to meet the current design requirements achieved story drift of 5% without any fractures, regardless of the presence of the brace and composite slab. These large deformation capacities were, in part, achieved due to the preventing local tearing at the beam end. Numerical study was conducted to provide insight into the effect of the connection details at the beam ends including gusset plate on the stress transfer mechanism. As a result, the stiffness and the strength of the member and connection were evaluated.

研究分野：建築構造

キーワード：鋼構造 制振構造 超高強度鋼材 柱梁接合部 ブレース ガセットプレート

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震後の機能維持および事業継続性への意識が高まる中、大地震に対しても応答変位を抑制し、損傷抑制を可能とする制振構造が広く普及している。一方で、近年の地震動予測技術の発達により、様々な地震特性を有する極大地震動が予測されるようになり、このような現行の耐震規定をはるかに超える極大地震動に対しても、機能維持を目標とする具体的な解決策が求められつつある。制振構造の場合、ダンパーによる減衰効果を高めることがまず重要であり、主架構は極力軽微な損傷に留めることが望ましい。(理想的には弾性に留める)この観点から、骨組としての必要剛性を確保しつつ、弾性限変形を従来の2倍以上に高められる超高強度鋼の利用は、有効な手段の一つになり得る。ただし、超高強度鋼材を使用した主架構の普及にあたっては溶接部に母材と同等以上の強度を持たせる(オーバーマッチング)ための施工難度・コストが高いことが大きな課題としてあった。そこで、本研究では、溶接接合部に必ずしもオーバーマッチング溶接を適用しなくても、必要な耐力を確保できる外ダイアフラム形式を積極的に活用することを考えた。ただし、外ダイアフラム形式の場合、内ダイアフラムや通しダイアフラム形式などの他の接合形式に比べて、梁端接合部での局部変形や局部耐力が無視できないことがある。また、外ダイアフラムでは柱角部での歪集中が避けられず、超高強度鋼材を利用した場合においても、この位置を起点に早期に破壊しないか、超高強度鋼材のように高降伏比の材料を使用することによって、普通鋼材を使用していた場合には顕在化しなかった破壊を誘発しないか検証しておく必要がある。さらに、制振構造では、ブレース形ダンパーを取り付けるためにガセットプレートが梁端近傍に存在する。従って、外ダイアフラム接合部を採用した場合のガセットプレートを含めた適切な接合部詳細、ひいてはガセットプレートの主架構設計における取り扱いを明確にしておく必要がある。

2. 研究の目的

以上の研究背景を踏まえて、本研究では、制振構造における主架構としての使用を想定した超高強度鋼柱と梁を外ダイアフラムによって接合した架構の載荷実験および数値解析から、部材・接合部の弾塑性挙動の把握およびその評価、必要性能を担保するための接合部ディテール、その具体的な設計法の構築を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず、2シリーズの部分架構実験を行い、ブレース、床スラブ、梁端接合部の詳細が主架構および柱梁接合部の弾塑性挙動に与える影響を検討した。同時に、有限要素解析を行い、主に柱梁接合部の応力伝達機構を詳細に分析した。以上の結果を総合し、ブレース軸力、床スラブ、ガセットプレート有無を考慮した部材・柱梁接合部の剛性・耐力の評価、必要性能を担保できる接合部ディテールの提示、その具体的な設計法を構築した。本研究課題における実施項目を以下に示す。

(1) 純鉄骨部分架構実験

まず、ダンパーが取り付けくことを想定し、外ダイアフラム形式で柱と梁を接合した図1に示す純鉄骨部分架構に関する繰返し載荷実験を行った。試験体の柱梁接合部は現行の日本建築学会鋼構造接合部設計指針に準拠して設計した。実験パラメータはガセットプレートの有無と、(座屈拘束)ブレースの有無であり、試験体は計3体である。載荷は、試験体に取り付けた油圧ジャッキを用い、載荷履歴は、図2に示すように架構の層間変形角 R を制御因子とした正負交番漸増繰返し載荷とした。実験では、試験体に与えられた水平荷重を油圧ジャッキに内蔵されたロードセルによって計測した。また、層間変形、各部材および接合部の変形を計測するために、所定の位置の変位を、接触形変位計を用いて計測した。さらに、梁、柱には主架構の負担水平力の算出および局所的な塑性化挙動を把握するために、歪ゲージを貼付した。

(2) 床スラブ付き部分架構実験

次いで、より現実的な架構の弾塑性挙動を

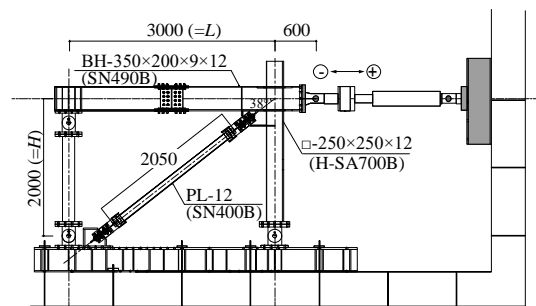


図1 実験セットアップの一例

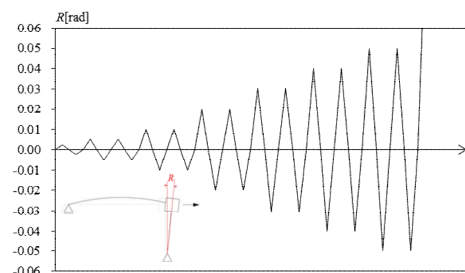


図2 載荷履歴

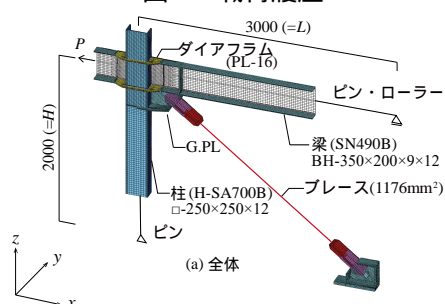


図3 有限要素モデル

把握するために、(1)純鉄骨部分架構実験と同一の部分架構にさらに床スラブを取り付けた実験を行った。本実験のパラメータはガセットプレートの有無であり、試験体は計2体である。載荷および計測方法は純鉄骨部分架構実験と同一とした。

(3) 数値解析による梁端接合部の応力伝達機構の詳細分析

図3に示すような有限要素モデルを作成し、柱梁接合部およびガセットプレート接合部の応力伝達機構を詳細に分析した。

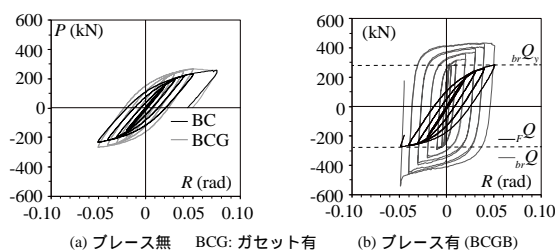


図4 P-R関係 (純鉄骨)

4. 研究成果

(1) 純鉄骨部分架構実験

載荷実験より得られた水平荷重 P と層間変形角 R の関係を図4に示す。ブレース付き試験体は、ブレースと主架構の負担水平力を分離して示している。実験結果より、ブレース、ガセットプレートの有無にかかわらず、主架構は、梁端における破断等を生じずに、層間変形角5%を越える大変形時まで安定した挙動を示すことが確認できた。また、梁の弾性剛性はガセットプレートが無い場合には、図5(a)に示すモデル化によって評価した計算値の約88%程度、ガセットプレートが取り付けく場合には、図5(b)に示すようにガセットプレートが取り付けく領域を剛域として計算した値とほぼ一致した。また柱の剛性については、ガセットプレートの有無にかかわらず、図5(a)、(b)のモデル化によって算定した計算値と一致した。すなわち、本研究で作用したガセットプレートとその補剛ディテールを採用した場合は、架構設計において、ガセットプレートを剛域として仮定することが概ね妥当であることがわかった。

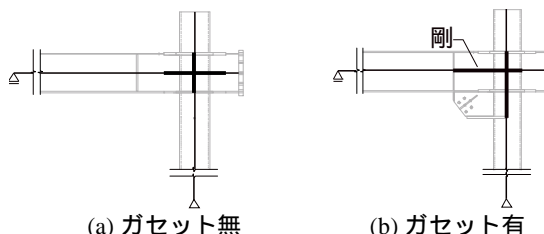


図5 梁の弾性剛性評価

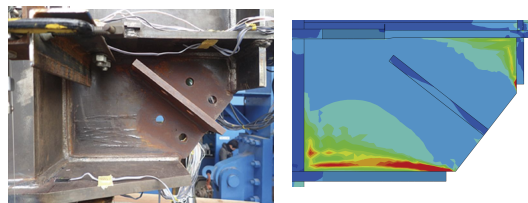


図6 ガセットプレートのせん断降伏

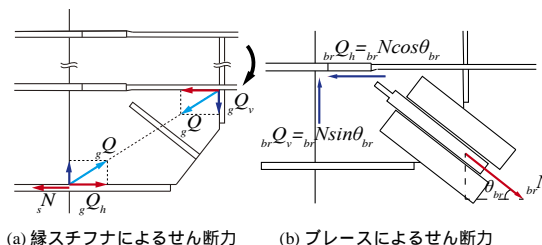


図7 ガセットプレートの応力伝達機構

一方で、層間変形角が2%を越えた時に、図6に示すようなガセットプレートにせん断降伏が確認され、外ダイアフラム形式によって取り付けられたサイドスチフナによる応力伝達機構が、通しダイアフラム形式などの他の接合部形式を採用した場合と異なることを確認した。そこで、数値解析を行い詳細に分析した結果、図7に示すガセットプレートの架構変形とブレース軸力の応力伝達機構を考慮することで、せん断降伏が生じる要因を概ね説明できることがわかった。

(2) 床スラブ付き部分架構実験

実験より得られた $P-R$ 関係を図8に示す。ガセットプレートの有無によって、スラブ圧壊に伴う耐力劣化性状に違いがみられるものの、床スラブが取り付けいた場合でも、下フランジの破断等は生じずに安定した挙動を示すことが確認できた。ガセットプレートの有無による耐力劣化性状の違いは、塑性ヒンジ形成位置の違いによって床スラブの抵抗とその損傷過程の違いが生じることによって概ね説明でき、床スラブの抵抗を塑性ヒンジ形成位置に応じて異なる耐力評価モデルを用いることによって、実験耐力を概ね評価することができた。

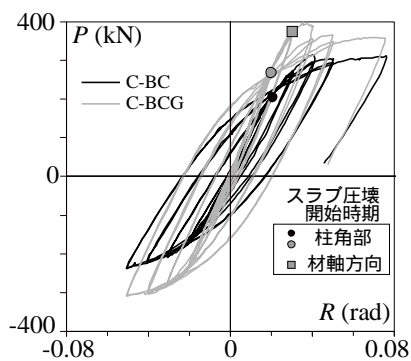


図8 P-R関係 (床スラブ付)

(3) 数値解析による梁端接合部の応力伝達機構の詳細分析

上記2シリーズの実験によって妥当性を確認した数値解析モデルを用い、主に梁端接合部近傍の応力伝達機構に与える接合部詳細の影響を検討した。ガセットプレートの有無によって比較した $P-R$ の関係を図9に、梁端の曲げモーメント M と梁端接合部の局部変形に基づき算定

した局部回転角 θ_L の関係を図 10 に、梁端近傍の塑性ひずみ分布を図 11 に示す。実験と同様にサイドスチフナを取り付けた場合には、そうでない場合に比べて、耐力の上昇が大きい。これは、サイドスチフナが取り付く場合には図 5 に示すように塑性ヒンジが、梁端からガセットプレート先端に移行させることができるが、サイドスチフナを取り付けなかった場合には、梁端近傍に塑性ひずみの集中が生じていることから、ヒンジの明確な移行はみられないためである。また、図 10 より、サイドスチフナを取り付けた場合に比べて、取り付けなかった場合では、梁端に大きな局部変形が生じていることがわかる。以上の結果より、外ダイアフラム形式を採用し、ガセットプレートによる塑性ヒンジの移行を期待した主架構の設計を行うためには、サイドスチフナが必須であることが明らかとなった。この結果を踏まえて、サイドスチフナの適切なサイズ選定を行う設計法を具体的に提示した。まずガセットプレートの必要板厚を現行の設計指針を用いて選定する。次いで、図 7 に示した応力伝達機構から、スチフナが伝達する軸力 sN はガセットプレートとサイドスチフナ境界に生じるせん断力 gQ_h と等しくなるため、 sN は、境界位置のせん断降伏耐力 gQ_{hy} を最低上回ればよいことになる。すなわち、 $sN > gQ_{hy}$ を満足するようにサイドスチフナの板厚と幅を選択すれば良いことになる。ただし、本来サイドスチフナは、ガセットプレートの面外座屈を防止するための役割も担っているため、それに対する検討も別途必要である。

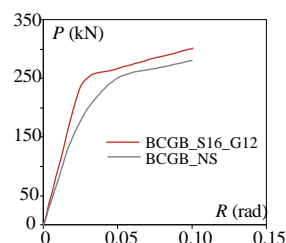


図 9 P-R 関係

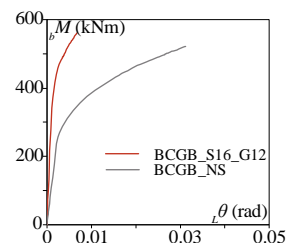


図 10 bM- θ_L 関係

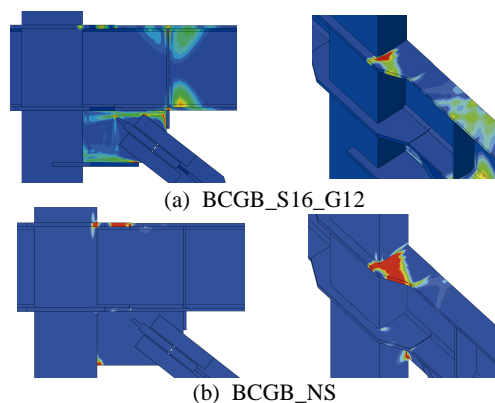


図 11 塑性ひずみ分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

竹内 佑騎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 矢橋健太郎: 外ダイアフラムにより高強度鋼柱と合成梁を接合した部分架構実験, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 26, pp. 645-652, 2018 (査読有り)

浅田 勇人, 田中 剛, 吉見信之: 角形鋼管柱に接合される梁端接合部が曲げと軸力を受ける場合の耐力評価, 日本建築学会構造系論文集 第 83 巻 第 753 号, pp. 1701-1711, 2018 (査読有り)

DOI: <https://doi.org/10.3130/aijs.83.1701>

竹内 佑騎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵: ブレース付き外ダイアフラム形式柱梁接合部の繰返し載荷実験, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 25, pp. 280-286, 2017. 11 (査読有り)

〔学会発表〕(計 5 件)

竹内 佑騎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 吉見 信之, 竹島 徹, 梅本 優也, 中尾 尊澄: ガセットプレートが取り付く外ダイアフラム形式箱形断面柱梁接合部の弾塑性挙動, 日本建築学会近畿支部研究報告会, 2017.

中尾 尊澄, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 竹内 佑騎, 吉見 信之, 竹島 徹, 梅本 優也: ガセットプレートが取り付く外ダイアフラム形式箱形断面柱梁接合部の弾塑性挙動 その 1 部分架構実験, 日本建築学会大会学術梗概講演会 2017.

竹内 佑騎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 吉見 信之, 竹島 徹, 梅本 優也, 中尾 尊澄: ガセットプレートが取り付く外ダイアフラム形式箱形断面柱梁接合部の弾塑性挙動 その 2 有限要素解析, 日本建築学会大会学術梗概講演会, 2017.

浅田 勇人, 田中 剛, 吉見 信之: 角形鋼管柱に接合される H 形鋼梁が曲げと軸力を受ける場合の耐力評価 その 1 全塑性耐力の誘導, 日本建築学会大会学術梗概講演会, 2017.

吉見 信之, 浅田 勇人, 田中 剛: 角形鋼管柱に接合される H 形鋼梁が曲げと軸力を受ける場合の耐力評価 その 2 耐力評価式の誘導と有限要素解析による検証, 日本建築学会大会学術梗概講演集, 構造, pp 801-802, 2017. 9

竹内 佑騎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 矢橋 健太郎, 竹島 徹, 中尾 尊澄, 梅本 優也: ガセットプレートが取り付く外ダイアフラム形式箱形断面柱梁接合部の弾塑性挙動 その 2 床スラブを有する場合, 日本建築学会近畿支部研究報告会, 2018.

竹内 佑騎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 矢橋健太郎, 竹島 徹, 中尾 尊澄, 梅本 優

也：ガセットプレートが取り付く外ダイアフラム形式箱形断面柱梁接合部の弾塑性挙動 - その 3 床スラブを有する部分架構実験 - , 日本建築学会大会学術梗概講演会 , 2018.
矢橋健太郎, 浅田 勇人, 田中 剛, 多賀 謙蔵, 竹内 佑騎, 竹島 徹, 中尾 尊澄, 梅本 優
也：ガセットプレートが取り付く外ダイアフラム形式箱形断面柱梁接合部の弾塑性挙動 - その 4 床スラブを有する部分架構実験に関する考察 - , 日本建築学会大会学術梗概講演会 , 2018.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

研究分担者氏名：浅田 勇人

ローマ字氏名：ASADA, Hayato

所属研究機関名：神戸大学

部局名：工学研究科

職名：助教

研究者番号：70620798

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。